

## BIOMATEMATIKAI MODELLEZÉS MÓDSZERTANI PROBLÉMÁI TALAJ BIOTESZTEK ÉRTELMEZÉSÉNél

Tolner László, Székely Gábor, Biczók Gyula

MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet

A talaj tápelem-visszapótlásával foglalkozó szaktanácsadó rendszerek a talaj tápelem-szolgáltató képességének becslésén alapulnak. Ezért elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt igen fontos annak pontos leírása, hogy a tápanyagok milyen folyamatok során, milyen sebességgel jutnak a talajból a növénybe.

Azonban a növény táplálkozási kísérletek "in vitro" rendszereiben a talaj-növény rendszerre jellemző kölcsönhatásoktól mentes körülmények között vizsgálják az egyes tápelemek felvételének biokémiai folyamatait. A talaj felvehető tápelem-készletének extrakciós módszerekkel való becslésében és a növény táplálási kísérletek és biotesztek klasszikus kiértékelésében pedig, épp a rendszer bonyolultsága miatt, elvi és gyakorlati nehézségek lépnek fel.

Jelen munkánkban a talajvizsgálat és a növény táplálkozáskutatás eredményeire támaszkodva vizsgáljuk és biomatematikai módszerekkel írjuk le a különböző tápelemek felvételének időbeli változását. Ebből következtetéseket vonunk le a talaj tápelem-szolgáltatásának folyamataira, és összefüggéseket keresünk a tápelem-szolgáltatás ezen paraméterei valamint más fontos talajjellemzők között.

### Kísérletek

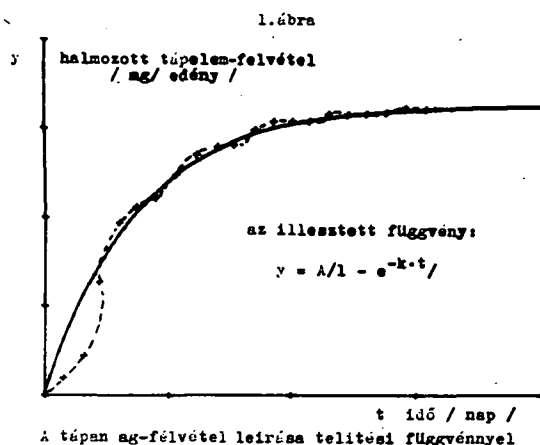
Vizsgálatunkhoz egy kovárványos barna erdőtalajon beállított háromtényezős tenyészedény-kísérlet adatai álltak rendelkezésünkre. E kísérletekben az első tényező /A/, egy kisparcellás műtrágyázási tartamkísérlet 12 éven át alkalmazott konroll/ $\emptyset$ /, egyoldalú nitrogén adagolás/N/ és NPK kezeléseinek utóhatása volt. A második tényező /B/, a tenyészedény-kísérletben alkalmazott PK kezelés volt 0 és 200mg  $P_2O_5$ , 300mg  $K_2O$ /edény szintekkel /Po Ko és P200 k300/. A C tényező pedig, a talaj tápelem-szolgáltatásának és a növény tápelemfelvételének folyamataira egyaránt nagy hatással lévő Ca öt, növekvő nagyságu /0-800 mg Ca/edény/ adagjából álló kezeléssor volt. Jelző-növényként angolperje /*Lolium perenne* L./ szerepelt, amely hosszú tenyészideje alatt többször vágható, és így produkciója időről-időre lemérhető.

Vizsgálatainkhoz felhasználtuk az angolperje 5 vágáson át halmozott N-, P-, K- és Ca-felvételének értékeit /4 ismétlésben/, valamint a kísérlet végén extrakciós módszerekkel, köztük a telítési vizes kivonat készítés módszerével mért talaj tápelem-tartalom értékeket és a talajok kezdeti /5 napos/ állapotát modellező érleléses kísérlet hasonló vizsgálati eredményeit /Biczók Gy. 1979/.

### A tápelem-szolgáltatás modellezése

Mivel a talaj tápelem-szolgáltatását legkézenfekvőbb a növény

által mér felvett tápelem-mennyiséggel megadni, ezért az angolperje vágásonkénti halmozott tápelem-felvételét vizsgáltuk az idő függvényében. Ilyen pontsorra, eltekintve a növény fenofázisaira jellemző ingadozásoktól, egy sima, telítésbe hajló görbe illeszthető /1. ábra/. Ennek adott időpontban vett meredeksége a talaj tápelem-szolgáltatásának aktuális sebességével, telítési érték pedig a talaj felvehető tápelem-készletével arányos.



Az általunk vizsgált tápelemek közül a N, K és Ca szolgáltatásában a talaj tápelem-szolgáltatási folyamatai közül legfontosabb szerepet az ugynevezett tömegáramlás/"mass flow"/ játszik /Barber, S.A. et al. 1963/. Ennek során a transzspiráció hatására a talajoldat az aktív gyökérfelület felé áramolva szállítja a benne oldott ionokat. Ezért a tápelem-felvételi időgörbék paraméterei elsősorban a talajoldatot modellező telítési vizes kivonat tápelemtartalmával illetve a koncentrációkból számított ionaktivitásokkal mutatnak szoros összefüggést. Némileg más a helyzet a foszfor esetében, amelynek felvételében, a foszfát-ionok talajoldatbeli igen alacsony koncentrációja miatt, a diffúzió a sebességmeghatározó folyamat. Ez a tény a foszfor-felvételi időgörbe egyenletének eltérő alakjában is kifejezésre jut.

A tápelem-szolgáltatás időbeli változását egy homogén, elsőrendű differenciálegyenlettel irtuk le. Ez megegyezik a reakciókinetikából ismert kinetikailag elsőrendű reakciót leíró egyenlettel:

$$\frac{dy}{dt} = k(A - y), \quad (1)$$

ahol a differenciálhányados a felvett tápelem mennyiségét fejezi ki dt időintervallumban, s ez arányos a talaj eredeti felvehető tápelem-készletnek(A) és az adott időpontig már felvett tápelem-mennyiségnek(y) a különbségével.

Az egyenletet megoldva kapjuk a tápelem-felvétel időfüggését leíró egyenletet:

$$y = A(1 - e^{-k \cdot t}) \quad (2)$$

Ez formailag megegyezik az agrokémiából ismert Mitscherlich-típusu

telítési függvény. Paraméterei a tápelem-szolgáltatás szempontjából a következőképpen értelmezhetők:  $y$  a  $t$  időpontig felvett összes tápelem-mennyiség,  $A$  a  $t \rightarrow \infty$ -re extrapolált "maximális" felvehető tápelem-készlet, és  $k$  a tápelem-szolgáltatás sebességi állandója.

A tápelem-felvétel időfüggvényét  $2/t$  szerint deriválva a felvételi sebesség időfüggvényét kapjuk:

$$v = \frac{dy}{dt} = -A \cdot k \cdot e^{-k \cdot t} \quad (3)$$

ahol  $v$  a tápelem-felvétel sebessége, melynek  $t = 0$  időpontra extrapolált értéke a tápelem-felvétel kezdeti sebessége:

$$v_0 = -A \cdot k \quad (4)$$

Az egyenletek paramétereinek kiszámítása iterációs módszerrel, számítógépen történt. Az időgörbék az egyes kezeléskombinációkhoz tartozó 20-20 pontra/5 vágás  $\times$  4 ismétlés/ illesztettük. Az illesztés pontosságát a számított és mért értékek eltérésének szórásával jellemeztük/s/.

### Eredmények

A *N-felvétel* időgörbéinek állandóira /1. táblázat/ nem első sorban a talaj N-ellátottsága gyakorolt nagy hatást, hanem a kísérlet kezeléseinek megfelelő P-, K- és Ca-ellátottsága. A 2. ábrán látható görbék  $A$  értékeinek növekedése a Ca-adaggal egyenesen arányos. A Ca-adagok az utóhatástól és a PK-szinttől függően növelték a *N-felvétel* kezdeti sebességét is /1. táblázat,  $v_0$ /. A  $v_0$  és a telítési vizes kivonat  $\text{NO}_3^-$ -ion aktivitása közötti pozitív összefüggést /3. ábra/ szintén befolyásolja az utóhatás és a PK-szint ugyanugy, mint a  $v_0$  és a  $\text{NH}_4^+$  között meglevő fordított arányosságot. Az összefüggés háttere, hogy a telítési vizes kivonat relatív Ca-intenzitásának ( $a_{\text{Ca}^{2+}}/\Sigma a_i$ ) növekedése az  $a_{\text{NO}_3^-}/a_{\text{NH}_4^+}$  arányt, a talajéletre gyakorolt hatásán keresztül növeli /4. ábra/. A 12 évig nagyadagu N-el egyoldaluan trágyázott talajon az  $a_{\text{Ca}^{2+}}/\Sigma a_i$  értékek külön tartományba /kb. 0.1 alá/ esnek. Itt az összefüggés nem szignifikáns, és a  $v_0$  értékek a nagyobb  $\text{NO}_3^-$ -aktivitások ellenére sem magasabbak, mint a  $\Phi$ -, vagy az NPK-utóhatású talajokon /3. ábra/.

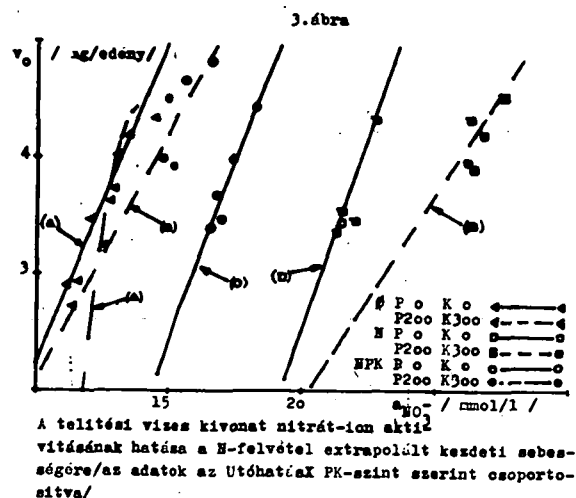
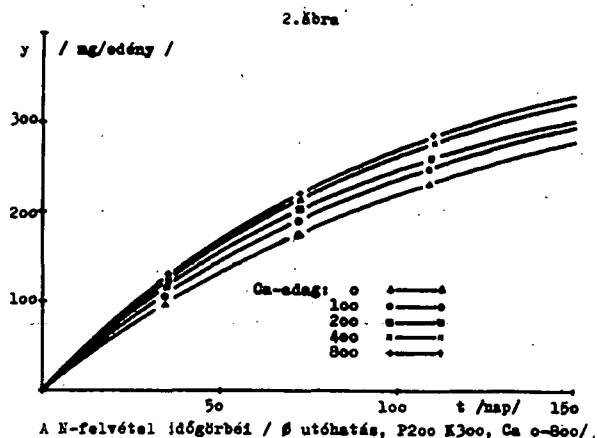
A *K-felvétel* időgörbéjének alakja a *N-felvételével* azonos. A felvehető K-készlettel arányos  $A$  értékét a PK-kezelés növelte erősen. Ugyanakkor  $v_0$ -nak a telítési vizes kivonat  $\text{K}^+$ -aktivitásával való összefüggése  $v_{0,k} = 5.05 + 11.44 a_{\text{K}^+}$ ,  $r = 0.704^*$  bizonyítja, hogy a magasabb talajoldatbeli  $\text{K}^+$ -aktivitás valóban megnöveli a talajból a növénybe irányuló K-áram intenzitásának kezdeti értékét.

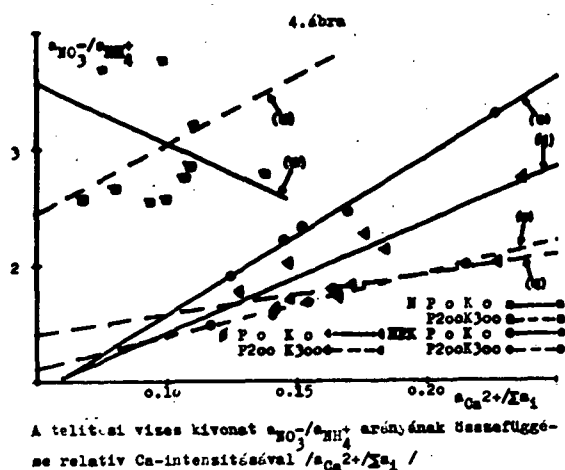
A *Ca-felvétel* és felvételi sebesség időgörbéinek paraméterei közül  $v_0$ -nak a telítési vizes kivonat relatív  $\text{Ca}^{2+}$ -intenzitásával való igen szoros kapcsolata ( $v_{0,\text{Ca}} = 0.489 + 8.001 \cdot a_{\text{Ca}^{2+}}/\Sigma a_i$ ,  $r = 0.791^{***}$ )

1. táblázat

A N-felvétel /y/ és a felvételi sebesség /v/ időgörbéinek paraméterei

Kezelés				Időgörbe jellemzők			
Utó- hatás	PK- kezelés	Ca- kezelés		A	-k /10 <sup>-2</sup> /	s	v <sub>0</sub>
ø	ø	ø		379.0	0.76	10.0	2.90
		100		387.0	0.70	13.4	2.72
		200		415.5	0.71	13.6	2.93
		400		398.5	0.87	11.0	3.47
		800		413.2	0.90	13.5	3.73
200	300	ø		390.2	0.83	12.1	3.24
		100		391.0	0.93	10.2	3.62
		200		378.4	1.06	10.3	4.02
		400		408.1	1.03	9.6	4.18
		800		417.2	1.04	13.6	4.33
N	ø	ø		355.0	0.95	13.5	3.38
		100		338.5	1.01	9.3	3.41
		200		364.6	0.97	14.0	3.52
		400		342.1	1.02	14.9	3.48
		800		327.8	1.33	14.4	4.35
200	300	ø		343.3	1.16	12.2	3.08
		100		381.5	1.14	11.0	4.35
		200		385.6	1.02	13.5	3.95
		400		380.3	1.11	12.1	4.23
		800		432.3	1.05	21.3	4.55
NPK	ø	ø		343.8	0.99	12.2	3.39
		100		394.0	0.93	14.8	3.67
		200		448.0	0.78	19.2	3.47
		400		412.0	0.97	14.8	3.98
		800		411.1	1.08	14.1	4.43
200	300	ø		389.5	1.02	14.3	3.98
		100		394.0	1.14	10.1	4.51
		200		417.0	0.94	24.2	3.92
		400		389.0	1.20	10.5	4.66
		800		396.5	1.22	9.4	4.82





alátámasztja  $v_0$ -nak a tápelem-áram intenzitásának kezdeti értékeként való értelmezését. Ez az intenzitás, a talaj tápelem-pufferkapacitásával arányos  $k$  sebességi állandónak megfelelően, az idő függvényében csökken.  $k$  egyébként maga is a talajkörnyezet függvénye, a Ca esetében az utóhatás és a PK-szint egy nagyságrenddel változtatja meg. Egy másik összefüggés, az időgörbék A értéke és a talaj kationcserélő-

-kapacitásának  $Ca^{2+}$ -telítettsége között,  $A_{Ca} = 102.7 + 315.1 \frac{Ca^{2+}}{T}$ ,  $r = .968***$ / igazolja az A paraméternek extrapolált "maximális" felvehető tápelem-készletként való értelmezését.

A *P-felvétel* leírásához az eredeti modellt módosítani kellett, mivel itt, az igen alacsony foszfátkoncentráció miatt, a diffúzió a sebességmeghatározó folyamat, és a P-felvételben az aktív gyökérfelületnek van döntő szerepe. Az eredeti  $k$  sebességi állandót az aktív gyökérfelület változását kifejező telítési függvénnyel bővítettük ki  $[-k = -c(1-e^{-gt})]$ .

A módosított függvény:

$$y = A(1 - e^{-c(1-e^{-gt}) \cdot t}) \quad (5)$$

Ahol  $y$  és  $A$  értelmezése nem változott,  $c$  a P-felvétel sebességi állandója egyensúlyi / maximális gyökérfelület esetén,  $g$  pedig az aktív gyökérfelület növekedésének sebességi állandója. A P-felvétel sebességének időfüggvénye:

$$v = \frac{dy}{dt} = -A \cdot c \cdot e^{-ct(1-e^{-gt})} (e^{-gt} - g \cdot t \cdot e^{gt} - 1) \quad (6)$$

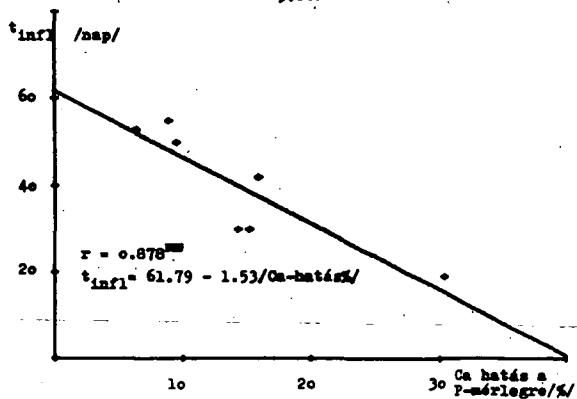
A P-felvételi görbe inflexiós pontjához tartozó időpontban  $t_i$  a sebesség-függvénynek maximuma van. Ezt maximális felvételi sebességnek  $v_{max}$  nevezzük, és  $t_i$ -vel együtt iterációs eljárással számítottuk ki /2. táblázat/

2. táblázat

A P-felvétel /y/ és a felvételi sebesség /v/ időgörbéinek paraméterei

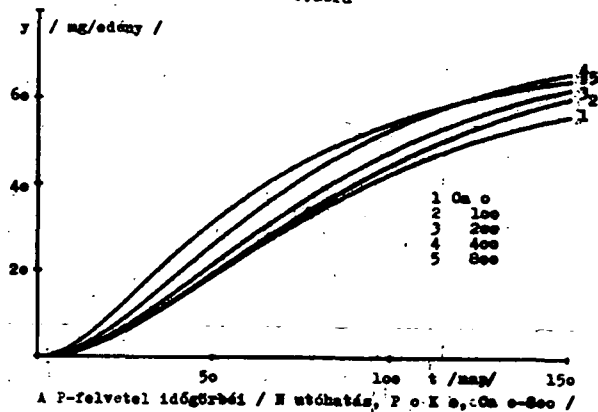
Kezelés				Időgörbe jellemzők								
Utó- hatás	PK- kezelés	Ca-ke- zelés	A	-c /10 <sup>-2</sup> /	-g /10 <sup>-3</sup> /	s	a <sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></sub> <sup>-</sup>	v <sub>max</sub>	Ca-hatás a P-mér- legre %	- t <sub>i</sub> nap		
Ø	o	o	o	234	0.36	18	3.7	0.06	0.76	-		
			100	264	0.22	31	3.2	0.04	0.60	-		
			200	692	0.08	33	2.8	0.03	0.63	8.9	55	
			400	872	0.07	64	3.0	0.03	0.68	15.2	30	
			800	524	0.14	102	4.5	0.03	0.81	30.4	19	
	200	300	o	210	0.68	71	4.8	0.23	1.42			
			100	225	0.70	59	6.4	0.23	1.52			
			200	196	0.81	61	6.5	0.18	1.52			
			400	195	0.84	51	5.9	0.15	1.51			
			800	204	0.87	46	6.5	0.09	1.60			
	N	o	o	o	67	1.45	12	4.0	0.03	0.25	-	
				100	76	1.22	13	3.2	0.03	0.57	6.4	53
				200	74	1.43	13	3.1	0.04	0.61	9.5	50
				400	76	1.46	17	2.9	0.03	0.70	15.9	42
				800	73	1.44	30	3.6	0.02	0.78	14.3	30
200	300	o	115	1.39	52	6.5	0.12	1.36				
		100	128	1.43	52	5.6	0.12	1.54				
		200	149	1.20	30	7.4	0.12	1.45				
		400	113	2.18	20	5.3	0.09	1.44				
		800	166	1.02	36	7.8	0.06	1.42				
NPK	o	o	o	115	1.31	58	4.5	0.06	1.32			
			100	139	1.24	39	6.5	0.07	1.41			
			200	156	1.01	39	6.8	0.07	1.34			
			400	141	1.56	24	6.9	0.05	1.50			
			800	191	0.83	45	6.5	0.04	1.44			
	200	300	o	209	1.05	49	7.7	0.34	1.94			
			100	233	0.83	84	5.5	0.32	1.91			
			200	214	0.95	40	8.4	0.28	1.77			
			400	211	1.08	51	6.8	0.23	2.02			
			800	266	0.72	63	6.2	0.15	2.87			

5. ábra



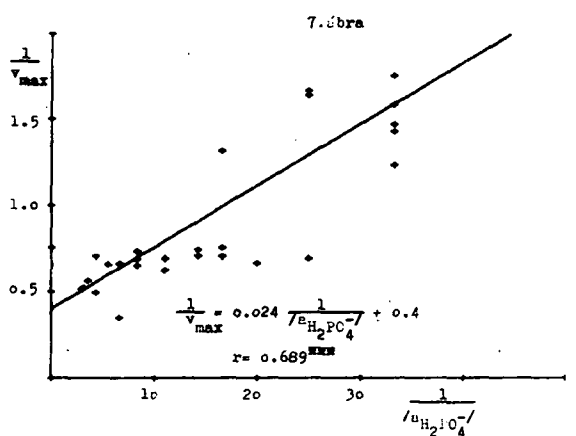
A P-felvétel időgörbéinek  $t_{infl}$  értéke és a Ca -adagnak a P-mérlegre gyakorolt %-os hatása közötti összefüggés /ø és N utóhatású talajok, P o K o -szint adatai/

6. ábra



A P-felvétel időgörbéi / N utóhatás, P o K o, Ca o-800 /

Az adatok között csak két összefüggést emelünk ki. A P-mérlegre gyakorolt  $\frac{1}{5}$ -os Ca hatás szoros, fordított arányosságban áll a  $t_1$  időponttal /5. ábra/. Ugyanez a hatás szemléletesebb a 6. ábrán: a Ca-adagtól függően az időgörbék inflexiója korábban következett be. Ennek oka, hogy a Ca-nak a P-felvételre gyakorolt pozitív hatása a legszembetűnőbb addig, amíg az aktív gyökérfelület nagysága még nem állandósult. A maximális P-felvételi sebesség  $/v_{\max}/$ , és a telítési vízes kivonat  $H_2PO_4^-$ -aktivitásának reciprokai között lineáris kapcsolat van /7. ábra/. Ez arra utal, hogy a P-felvétel az enzimkinetika Michaelis-Menten egyenletével leírható, azaz a P-szolgáltatás folyamataiban a diffúzió mellett, a gyökér-talajoldat határreteg sajátosságai is meghatározhatók.



A P-felvétel maximális sebessége  $/v_{\max}/$  és a telítési vízes kivonat dihidrogenfoszfát aktivitása közötti reciprok összefüggés

### Összefoglalás

A növényi tápelem-felvétel folyamatának kvantitatív leírását a talajjellemzőkkel összevetve olyan összefüggésekre jutottunk, amelyek megismertetnek a talaj-növény rendszer tápelem-forgalmával, s így hasznosak lehetnek az elméleti kutatás és a korszerű mezőgazdasági gyakorlat számára egyaránt.

### Irodalom

Barber, S.A., Walker, J.M., Vasey, E.H. /1963/, J. Agr. Food Chem. 11: 204-207

Biczók Gy. /1979/, Kalcium trágyázás hatásának vizsgálata kovárványos barna erdőtalaj kalcium-szolgáltató képességére és a tápanyagmérlegre /Doktori értekezés/